

**ESTUDIO DE TÉCNICAS NUCLEARES APLICADAS A LA MEDICIÓN DE LA  
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN FUENTES  
HÍDRICAS LÓTICAS.**

**SANDRA MILENA VALENCIA QUINTERO  
RANDHY THOMPSON PERDOMO  
RICHARD ANDRÉS PARDO GONZÁLEZ**



**UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTA D. C.  
2005**

**ESTUDIO DE TÉCNICAS NUCLEARES APLICADAS A LA MEDICIÓN DE LA  
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN FUENTES  
HÍDRICAS LÓTICAS.**

**SANDRA MILENA VALENCIA QUINTERO  
RANDHY THOMPSON PERDOMO  
RICHARD ANDRÉS PARDO GONZÁLEZ**

Proyecto de Grado para optar al Título de  
Ingeniero Ambiental

Director:

Jesús Ernesto Torres Quintero  
Ingeniero Civil – Magíster Recursos Hidráulicos

Codirector:

Guillermo Eduardo Ávila  
Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D. C.  
2005**

## **1. RESUMEN**

En el programa de investigación de la Universidad Libre se propone implementar nuevas herramientas de trabajo en el campo de la ingeniería ambiental, investigando una técnica basada en el empleo de fuentes radiactivas, utilizada en hidrología en la determinación de la concentración de sedimentos en suspensión transportados por los ríos. Su fundamento consiste en la acción de la materia sobre la radiación. Mediante la práctica se quiere comparar la técnica nuclear con la técnica convencional, con el fin de determinar, analizar y cuantificar valores más consistentes y representativos que se logran obtener con la técnica de medición nuclear.

## **2. ABSTRACT**

In the research program of the Libre University it is tried to demonstrate new tools of work in the field of engineering, implementing a technical based on the use of radiation sources, used in hydrology in the determination of the sediment concentration in suspension transported by the rivers. Its foundation is based in the action of the matter on the radiation. By means of the practice it is wanted to compare the nuclear technique with the conventional technique, with the purpose of determining, analyzing and to quantify more consistent and representative values than they are managed to obtain with the technique of nuclear measurement.

### 3. GLOSARIO

**Contador de centelleo:** El contador de centelleo se basa en la ionización producida por partículas cargadas que se desplazan a gran velocidad en determinados sólidos y líquidos transparentes, conocidos como materiales centelleantes. La ionización produce destellos de luz visible.

**Detector de centelleo:** Detectores de partículas, instrumentos que detectan y en muchos casos hacen visibles las partículas fundamentales subatómicas. Su complejidad va, desde el conocido contador Geiger portátil hasta cámaras de destellos o de burbujas con el tamaño de una habitación.

**Emisión de radiación:** Cuando un cuerpo absorbe radiación, se incrementa su estado de excitación, sobre todo los electrones situados en un alto nivel energético, produciéndose fuertes vibraciones de las mallas cristalográficas, es decir, aumentan su temperatura. Los fotones incidentes se habrán esfumado. El cuerpo tiende a restablecer su estado primitivo mediante la irradiación de esta energía adicional. El proceso se desarrolla ahora en sentido inverso; los fotones emitidos de nuevo tienen unas longitudes de onda determinadas que dependen de la variación de energía, aunque el número de posibles valores es a menudo tan grande que podemos considerar que el espectro de emisión es continuo.

**Fuente de Americio 241:** Es un radioisótopo que emite rayos X y Gamma de energía con un periodo de semidesintegración de 433 años.

**Hidrología:** Ciencia que estudia las aguas continentales.

**Isótopos:** Átomo perteneciente a un elemento, con el mismo numero de carga nuclear (número atómico), pero diferente número de masa (de nucleones).

**Partículas Gamma:** Los rayos gamma son fotones o cuantos de radiación. Los fotones no tienen ni masa ni carga, y son los más penetrantes de los tres, con distancias de penetración típicas en la escala de 5 a 20 g/cm<sup>2</sup>, dependiendo de la energía de los rayos gamma, y del número atómico Z del material absorbente. Para materiales con valores de Z elevados (como el plomo, Z = 82), las distancias típicas de penetración son sólo de 1 g/cm<sup>2</sup> a 200 keV, e incluso mucho menor para energías menores, por lo que, por ejemplo, delgadas hojas de plomo resultan muy efectivas para detener rayos X.

**Radiactividad:** Es la desintegración espontánea de núcleos atómicos mediante la emisión de partículas subatómicas llamadas partículas alfa y partículas beta, y de radiaciones electromagnéticas denominadas rayos X y rayos gamma.

**Sedimentos:** Deposito de materiales arrastrados mecánicamente por las aguas, el hielo o el viento.

**Sonda de medida gamma natural:** Es una fuente artificial de isótopos radiactivos que emiten rayos gamma. Normalmente las mas utilizadas son Radio-226, Cesio-137, Americio-241 y cobalto-60. Los rayos gamma son ondas electromagnéticas emitidas espontáneamente por algunos elementos radiactivos que se encuentran en la naturaleza. Generalmente estos elementos son isótopos radiactivos del Potasio, Uranio y Torio.

**Turbidez:** Concentración de sedimentos en suspensión, dependiendo de su tamaño y densidad. Generalmente los sedimentos transportados en suspensión tienen un diámetro medio inferior a 0,1 milímetros.

#### **4. PROBLEMÁTICA**

Los procesos relacionados en el área de la hidrología isotópica actualmente en Colombia no cuentan con una información actualizada, que asegure un estudio eficiente en la aplicación de técnicas nucleares a sedimentos en suspensión.

El Instituto de investigación e Información Geocientífica, Mineroambiental y Nuclear (INGEOMINAS) entidad que cuenta con equipos especializados necesita capacitar personal e implementar los laboratorios y la información que brinde apoyo adecuado en el manejo de equipos e instrumentos.

Los problemas de erosión y deslizamiento de suelos producto de diferentes actividades sociales y físicas es un tema de gran importancia en materia ambiental ya que la presencia de sedimentos en un punto determinado de un río indica, por una parte, que en alguna zona de la cuenca situada aguas arriba a tenido lugar la erosión del terreno y por otra que en alguna zona situada aguas abajo se producirá la deposición o acumulación de los sedimentos; con gran repercusión en el mantenimiento de vías de navegación en ríos o estuarios y en consecuencia las modificaciones que son de esperar a largo plazo en el cauce de los ríos o colmatación de lagos y/o embalses.

## **5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Desde el mes de marzo del 2004 se ha venido desarrollando el trabajo investigativo en el centro de investigaciones de INGEOMINAS en desarrollo del convenio UNIVERSIDAD LIBRE - INGEOMINAS donde se realizaron las prácticas de laboratorio y simulación para determinar la concentración de sedimentos suspendidos en fuentes hídricas lóaticas mediante la técnica nuclear con los equipos de medición SILENA.

Las practicas se han realizado en el tanque de simulación de fuentes lóaticas, que posee el laboratorio con toma de blancos o fondos, para el inicio de la calibración de los equipos en diferentes concentraciones pertinentes a la documentación y establecimiento de los parámetros de medición, se recolectaron muestras de el río Checua en el Departamento de Cundinamarca que fueron tomadas en el mes de mayo de 2004 y llevadas a laboratorio para las posteriores practicas y análisis entre los meses de Junio y Noviembre de 2004, la practica de campo se realizó en Diciembre de 2004.

### **5.1 MONTAJE DE EQUIPOS**

En el mes de marzo se asistió al laboratorio de INGEOMINAS con el inicio del proyecto mediante el montaje de equipos, acorde a los parámetros utilizados:

Con la fuente de <sup>241</sup> Americio, el blindaje y el detector de centelleo, se montan los equipos teniendo un tanque con capacidad de 480 lt, es necesario tener el tanque con agua hasta el volumen elegido para la calibración. La prueba se lleva a cabo primero con agua sin sedientos y luego se añade el sedimento tamizado con un diámetro de 100 micras.

Se deben tener en cuenta ciertas condiciones para el montaje y calibración de los equipos, permitiendo que los resultados no varíen de acuerdo a los ensayos de laboratorios.

## **5.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

La recolección de muestras de agua y sedimentos se realizó el día 16 del mes de mayo del año 2004, sobre la cuenca del río Checua entre el municipio de Nemocón y el municipio de Sutatausa.

Se recolectó un volumen de 300 galones de agua del río Checua y fueron llevadas a laboratorio para realizar las pruebas de medición de concentración en la técnica convencional y en la técnica a nuclear.

También se recolectó una muestra separada, de sedimentos con el fin de llevarlos al laboratorio y utilizarlos en las posteriores prácticas de calibración de los equipos y simulación de las concentraciones.

## **5.3 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN**

Las pruebas de calibración se ejecutaron en el mes de marzo en los laboratorios de INGEOMINAS.

Para la primera práctica de calibración una vez ensamblado el equipo, se instaló en el tanque de pruebas, de una manera fija, de tal forma que el conjunto fuente-detector, permaneciera a una altura del fondo del tanque de 40 a 45 cm, garantizando que las lecturas realizadas fueran a los sedimentos en suspensión y no a sedimentos de fondo. (Ver foto N° 1)





Foto Nº 1. Tanque de simulación de fuentes lógicas

Se deben tener en cuenta ciertas condiciones para el montaje y calibración de los equipos, permitiendo que los resaltos no varíen de acuerdo a los ensayos de laboratorios los parámetros a tener en cuenta son:

- Distancia fuente detector para los primeros ensayos: 31cm
- Cobertura del detector de centelleo: Cilindro Plástico
- Intervalo de cuentas: 10 segundos y en minutos
- Tiempo de medidas : 3 - 4 minutos
- Energía del Americio 241: 60 KeV
- Agitación mecánica
- Numero de cuentas tomadas promedio: 30 – 40

### **5.3.1 Toma de Blancos o Fondos**

Estos blancos permiten conocer un promedio de la radiación del fondo natural, además del comportamiento de la fuente con respecto a la distancia y las posibles variaciones producidas por las características del sitio de trabajo. Se tomaron diferentes fondos o blancos que son:

- Conteo sin agua y sin fuente.
- Conteo sin agua y con fuente. (Ver foto N° 2)
- Conteo con agua y sin fuente.
- Conteo con agua y con fuente. (Ver foto N° 3)



Foto N° 2. Conteo sin agua y con fuente.

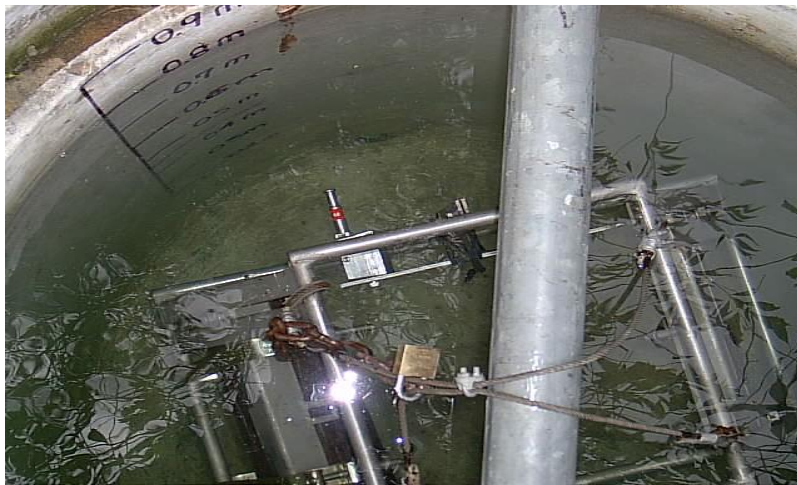


Foto N° 3. Conteo con agua y con fuente.

Mediante el proceso de tamizado de los sedimentos recolectados, son pasados a través de un tamiz 100 donde se reduce su tamaño a 0,01 mm para ser utilizados.

Una vez tomados los blancos se procedió a calcular los diferentes pesos de sedimentos por medio de una balanza analítica, para lograr las siguientes concentraciones de sedimentos suspendidos: 0.5 gr/lit, 1.0 gr/lit, 1.5 gr/lit, 2.0 gr/lit,

3.0 gr/lt, 5.0 gr/lt, 10.0 gr/lt, 15.0 gr/lt, 20.0 gr/lt, 30.0 gr/lt, 40.0 gr/lt y 50.0 gr/lt para un tanque de 480 litros de volumen.

#### **5.4 PRUEBAS DE MEDICIÓN**

Las primeras pruebas de medición se iniciaron con la toma de blancos, en el tanque de simulación, posteriormente se añadieron los sedimentos en concentraciones mencionadas y alternamente se tomaron los datos dados por el equipo análogo digital SILENA, demostrados en las tablas y graficas en el capitulo de resultados.

La segunda prueba fue realizada sin resultados adecuados ya que la fuente gamma se encontraba en funcionamiento y emite rayos Gamma (INGEOMINAS) que alteran los resultados del equipo nuclear y no se tenía conocimiento lo cual el comportamiento de mediciones son erróneas, además al agregarle los sólidos todos al tiempo no fueron divididos equitativamente y no tomar concentraciones adecuadas de calibración permite otro error en estas mediciones.

Bajo estas condiciones se toma una base de referencia realizando todas las siguientes pruebas sin errores.

## 6. RESULTADOS

El equipo portátil para la medida punto a punto de la concentración de sedimentos suspendidos han sido desarrollados por el Organismo Internacional de Energía Atómica, que a través de una sonda de medida que se introduce en el agua emiten los impulsos del detector de centelleo y se registran las cuentas en una escala portátil, bastando solo unos minutos de recuento para obtener la información con la exactitud requerida.

El equipo esta basado en la dispersión de rayos gamma emitidos por una fuente de  $^{241}\text{Am}$  de 100 mCi de actividad. La fuente se encuentra en el extremo de una varilla rígida montada en prolongación de un detector de centelleo. El cristal de INa se posiciona, en la dirección en que se encuentra la fuente de  $^{241}\text{Am}$ .

En tales condiciones, la mayor parte de los rayos gamma detectados son aquellos que han experimentado fenómenos de dispersión en el medio que rodea a la sonda. La concentración de sedimentos afecta al fenómeno de dispersión y a la transmisión a través del medio de los rayos gamma dispersados.

La respuesta del detector en función de la concentración disminuye según una curva pendiente (Ver figura N° 1) mediante las cuentas por segundo (cps) ó La relación  $R_{sw}/R_w$  que esta dada para la curva de calibración como: cuentas por minuto de sedimento sobre cuentas por minuto de agua (cpm sedimento/cpm agua),  $(\ln R_{sw}/R_w)$  obtenidas en el equipo análogo digital SILENA posteriormente asistiendo a las graficas de calibración y obteniendo resultados de forma casi inmediata, el peso y la forma adecuada de la sonda permite sumergirla en la corriente del río desde un puente o barca colgada de un cable.



Figura N° 1. Curva de calibración

## 6.1 GRAFICAS DE CALIBRACIÓN

A continuación se presentan un ejemplo de las tablas y graficas de calibración registradas en una familia de curvas pendientes donde se obtienen los resultados de las concentraciones para 5.0 gr/lt, 10.0 gr/lt, 20.0 gr/lt, 30.0 gr/lt, 40.0 gr/lt y 50.0 gr/lt.

### 6.1.1 Lista de Tablas

Tabla 1. Medición de concentración real de sedimentos en suspensión – cuarto ensayo

Tabla 2. Medición de concentración real de sedimentos en suspensión – cuarto ensayo cuentas por minuto

Tabla 3. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión - cuarto ensayo

Tabla 4. Calibración del equipo para mediciones de la concentración de sedimentos en suspensión. Estadística 1 - cuarto ensayo

Tabla 5. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión - primer ensayo

Tabla 6. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión - segundo ensayo

Tabla 7. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión - tercer ensayo

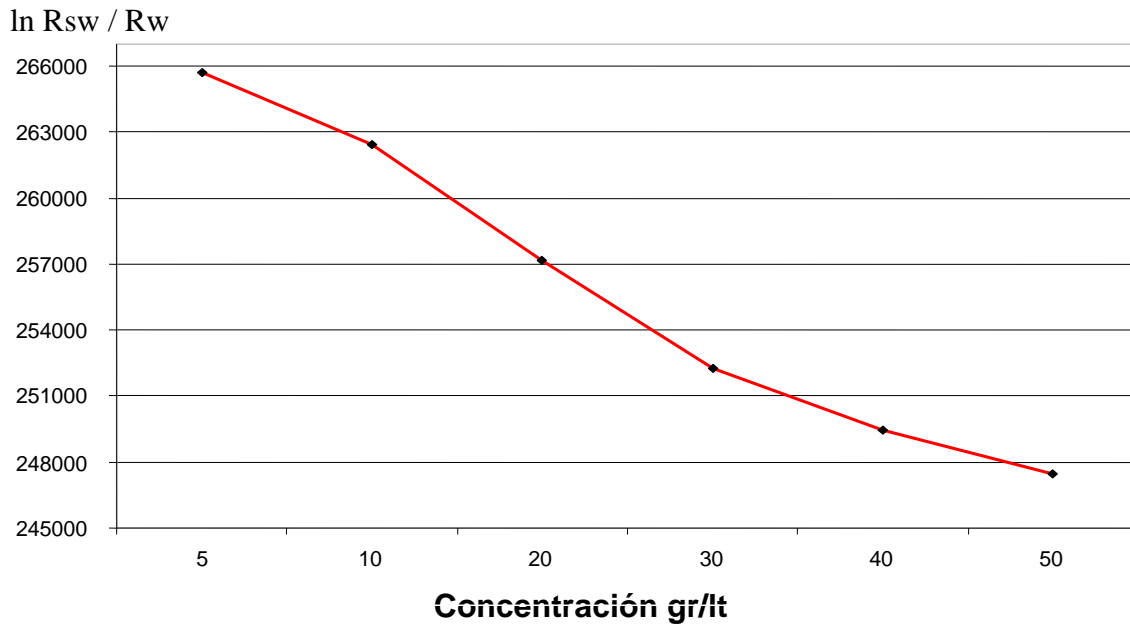
### **6.1.2 Lista de Graficas**

Grafica N° 1. Calibración. Cuentas en función de la concentración de sedimentos. Cuarto ensayo

Grafica N° 2. Calibración. Cuentas en función de la concentración de sedimentos Cuarto ensayo. Efecto sin fuente gamma

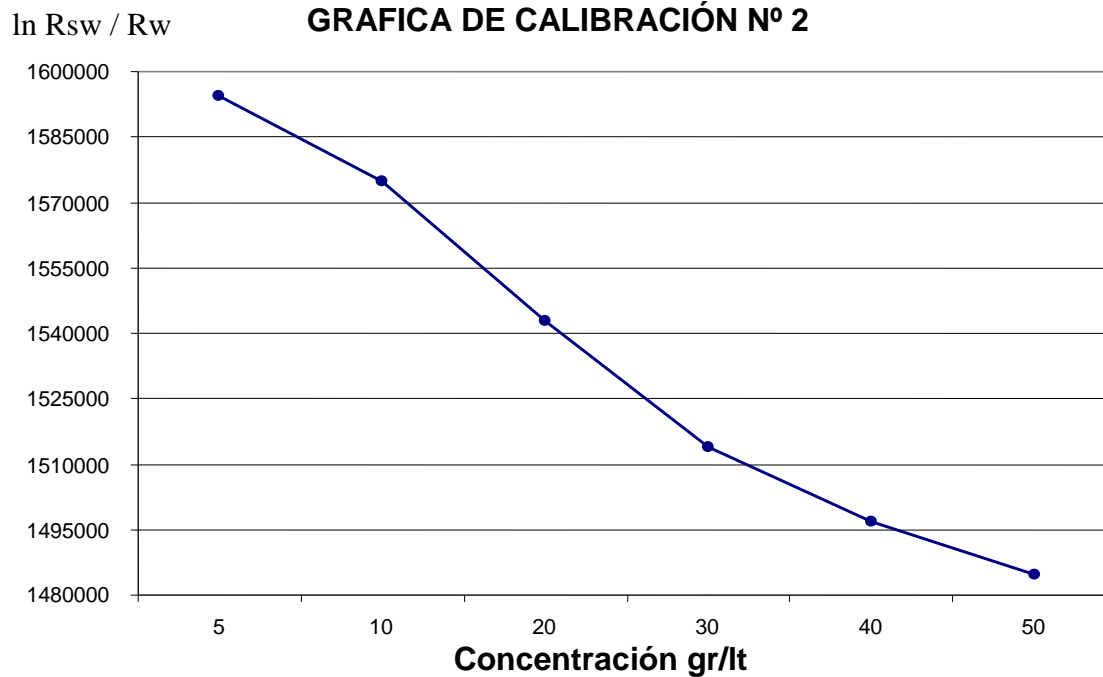
<b>Tabla 1. Medición de concentración real de sedimentos en suspensión – cuarto ensayo</b>					
Fecha:			2 de septiembre de 2004		
Lugar:			INGEOMINAS Laboratorio de Sedimentos		
Equipo utilizado:			Silena - Detector con cristal INa		
Unidad de medida:			Cuentas		
Intervalo de lectura:			Cada 10 segundos.		
Cuba de volumen:			480 litros (tanque de pruebas)		
Tipo de Agitación:			Mecánica		
Observación:			Efecto sin fondo (fuente gamma)		
5,0 gr/lt	10,0 gr/lt	20,0 gr/lt	30,0 gr/lt	40,0 gr/lt	50,0 gr/lt
265800	263900	257900	252000	249500	247600
266100	262200	258400	252000	250500	246400
266700	263300	258300	251800	251100	247400
265500	263000	258000	253400	250700	247700
266200	262900	257500	251500	250200	246800
265400	262400	257700	252600	249900	247300
265100	262800	256800	252600	250500	247500
266400	263300	257500	252800	250600	247500
266000	263400	256900	252800	249300	247800
265800	263200	257000	252200	250100	248700
265400	262300	256900	252300	249900	247100
265300	261300	256900	252400	249400	247400
265200	262100	257400	252100	249800	247200
265200	262100	255600	251100	248200	247200
265500	262100	255900	251700	247600	247700
264900	261900	257300	252600	248200	247700
266400	261000	256800	252700	248600	248500
265300	261600	257700	252600	248700	248200
265600	262300	256400	252000	248400	246400
266400	262100	256000	251900	248200	246600
<b>265710</b>	<b>262460</b>	<b>257145</b>	<b>252255</b>	<b>249470</b>	<b>247435</b>

### GRAFICA DE CALIBRACIÓN Nº 1



Grafica Nº 1. Calibración. Cuentas en función de la concentración de sedimentos. Cuarto ensayo  
Efecto sin fuente gamma.

### GRAFICA DE CALIBRACIÓN Nº 2



Grafica Nº 2. Calibración. Cuentas en función de la concentración de sedimentos Cuarto ensayo  
Efecto sin fuente gamma



**Tabla 2. Medición de concentración real de sedimentos en suspensión – cuarto ensayo cuentas por minuto**

Fecha:		2 de septiembre de 2004			
Lugar:		INGEOMINAS Laboratorio de Sedimentos			
Equipo utilizado:		Silena - Detector con cristal INa			
Unidad de medida:		Cuentas			
Intervalo de lectura:		Cada 10 segundos.			
Cuba de volumen:		480 litros (tanque de pruebas)			
Tipo de Agitación:		Mecánica			
Observación:		Efecto sin fondo (fuente gamma)			
5,0 gr/lt	10,0 gr/lt	20,0 gr/lt	30,0 gr/lt	40,0 gr/lt	50,0 gr/lt
265800	263900	257900	252000	249500	247600
266100	262200	258400	252000	250500	246400
266700	263300	258300	251800	251100	247400
265500	263000	258000	253400	250700	247700
266200	262900	257500	251500	250200	246800
265400	262400	257700	252600	249900	247300
265100	262800	256800	252600	250500	247500
266400	263300	257500	252800	250600	247500
266000	263400	256900	252800	249300	247800
265800	263200	257000	252200	250100	248700
265400	262300	256900	252300	249900	247100
265300	261300	256900	252400	249400	247400
265200	262100	257400	252100	249800	247200
265200	262100	255600	251100	248200	247200
265500	262100	255900	251700	247600	247700
264900	261900	257300	252600	248200	247700
266400	261000	256800	252700	248600	248500
265300	261600	257700	252600	248700	248200
265600	262300	256400	252000	248400	246400
266400	262100	256000	251900	248200	246600
1594260	1574760	1542870	1513530	1496820	1484610

<b>Tabla 3. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión - cuarto ensayo</b>						
Fecha:			3 de septiembre de 2004			
Lugar:			Laboratorio de aguas Universidad Libre			
Equipo utilizado:			Horno de secado			
Temperatura de la Mufla:			105-200°C			
Tiempo de secado:			Mínimo 24 horas			
Recipientes			Vasos de precipitado			
Observación:			Efecto sin fondo (fuente gamma)			
Nº de Recipiente	Peso recipiente limpio y seco	Peso recipiente+ sedimento + agua	Peso recipiente + sedimento seco	Peso sedimento	Volumen de muestra	[ C ]*
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(lt)	(gr/lt)
1	155,62	350,87	156,431	0,811	0,2	4,055
2	151,04	345,75	152,85	1,81	0,2	9,05
3	240,66	444,35	244,07	3,41	0,2	17,05
4	293,23	502,22	297,48	4,25	0,2	21,25

\*Concentración

<b>Tabla 4. Calibración del equipo para mediciones de la concentración de sedimentos en suspensión. Estadística 1 - cuarto ensayo</b>				
Concentración real (gr/lt)	Conteo de mezcla y con fuente (cuentas)	Conteo con agua y con fuente (cuentas)	Rsw/Rw	ln Rsw/Rw
4,06	265710	267300	0,994052	-0,005966
9,05	262460	266900	0,983365	-0,016775
17,05	257145	267100	0,962729	-0,037983
21,25	252255	267500	0,943009	-0,058679

### 6.3 TÉCNICA CONVENCIONAL PARA DETERMINAR CONCENTRACION DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

**6.3.1 Muestras Tomadas al Azar.** La forma más sencilla de tomar una muestra de sedimentos en suspensión consiste en sumergir un recipiente en la corriente, en un punto en el que esté bien mezclada, como aguas abajo de un vertedero. El

sedimento contenido en un volumen medido de agua se filtra, se seca y se pesa, (Ver foto N° 4). Esto da una medida de la concentración del sedimento y cuando se combina con el caudal se obtiene la tasa de descarga de sedimentos. Los resultados se encontraran en las Tablas N° 5, 6 y 7.

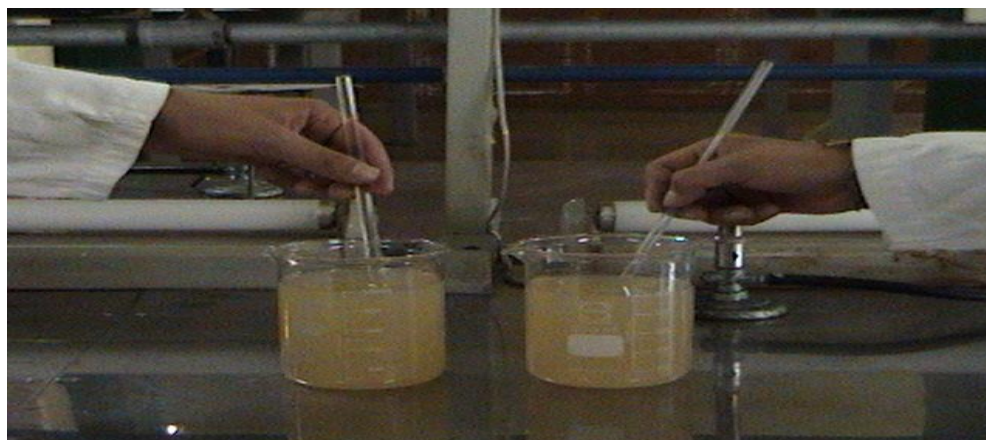


Foto N° 4. Mezclado y filtrado de sedimentos.

<b>Tabla 5. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión – primer ensayo</b>						
Fecha:			28 de mayo del 2004			
Lugar:			Laboratorios de aguas Universidad Libre			
Equipo utilizado:			Horno de secado			
Temperatura de la Mufla:			105-200 °C			
Tiempo de secado:			Mínimo 24 horas			
Vasos de precipitado:			Volumen de 0.2 litros			
Observación:			Muestras tomadas al azar del río Checua			
N° de recipiente	Peso recipiente limpio y seco	Peso recipiente+ sedimento + agua	Peso recipiente + sedimento seco	Peso sedimento	Volumen de muestra	[ ] *
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(lt)	(gr/lt)
1	155,37	362,5	155,48	0,11	0,2	0,55
2	152,82	348,57	152,98	0,16	0,2	0,8
3	149,97	354,26	150,2	0,23	0,2	1,15
4	151,69	356	152,06	0,37	0,2	1,85

**Tabla 6. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión - segundo ensayo**

Fecha:		18 y 27 de Junio de 2004				
Lugar:		INGEOMINAS Laboratorio de Sedimentos				
Equipo utilizado:		Horno de secado 105-200 °C				
Tiempo de secado:		Mínimo 24 horas				
Recipientes		Vasos de precipitado de 0.2 litros				
Observación:		Muestras tomadas al azar				
Nº de Recipiente	Peso recipiente limpio y seco	Peso recipiente+ sedimento + agua	Peso recipiente + sedimento seco	Peso sedimento	Volumen de muestra	[ ] *
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(lt)	(gr/lt)
1	155,37	362,32	155,487	0,117	0,2	0,585
2	152,82	348,15	152,998	0,178	0,2	0,89
3	149,97	353,94	150,304	0,334	0,2	1,67
4	151,69	356,12	152,05	0,36	0,2	1,8

**Tabla 7. Técnica convencional para determinar la concentración de sedimentos en suspensión - tercer ensayo**

Fecha:		27 y 28 de Julio de 2004				
Lugar:		Laboratorio de Aguas Universidad Libre				
Equipo utilizado:		Horno de Secado 105-200°C				
Tiempo de secado:		Mínimo 24 horas				
Recipientes		Vasos de precipitado de 0.2 litros				
Observación:		Muestras tomadas al azar				
Nº de Recipiente	Peso recipiente limpio y seco	Peso recipiente+ sedimento + agua	Peso recipiente + sedimento seco	Peso sedimento	Volumen de muestra	[ ] *
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(lt)	(gr/lt)
1	155,37	362,57	155,46	0,09	0,2	0,45
2	152,82	348,17	152,999	0,179	0,2	0,895
3	149,97	354,01	150,287	0,317	0,2	1,585
4	151,69	356,29	152,063	0,373	0,2	1,865

## 7. ANÁLISIS

Para la calibración de los equipos fueron necesarias varias prácticas en donde se lograra tener un alto porcentaje de confiabilidad en el resultado de las medidas de la concentración de sedimentos suspendidos. Durante las primeras cuatro prácticas se presentaron errores debido a diferentes factores que alteraban los resultados de los datos:

Los factores que influyeron en las calibraciones erróneas fueron:

- Fuente Gamma Izada. (INGEOMINAS)
- Distancia Detector – Fuente.
- Vertido de los Sedimentos.
- Agitación de la Mezcla (Agua – Sedimentos).
- Movimiento de la Base (Fuente – Detector).

Durante las siguientes pruebas de calibración se tuvo en cuenta los factores que alteraron los resultados en las anteriores prácticas logrando obtener datos confiables dando muestra de una óptima calibración de los equipos.

La medición de la cantidad de sólidos en suspensión analizado con la técnica convencional permitió comparar los datos obtenidos por este método con los datos obtenidos por el método de medición nuclear; asegurando la exactitud y proximidad en los datos a la concentración real por medio de los dos métodos. Las sondas de medida que se introducen en el agua se representan en impulsos del detector de centelleo que se registran en una escala portátil (silena) bastando solo unos minutos de recuento para obtener la información con la exactitud requerida, el intervalo de medida de estos equipos esta comprendido entre 0.1 y 50 gr/lit, el error oscila entre el 20% para las concentraciones mas bajas y el 5% para las más elevadas.

## 8. PRACTICA REALIZADA EN EL RIO CHECUA

Con el fin de realizar trabajos prácticos de campo en el tema de la investigación se seleccionó la cuenca del río Checua Departamento de Cundinamarca como cuenca experimental para realizar practicas de campo y calibración de sedimentos de este lugar especifico por los problemas de erosión que se presentan que conllevan problemas ambientales en el transporte de sedimentos, avalanchas y contaminación al río Bogotá y la planta de tratamiento de TIBITOC.

Los siguientes datos de la cuenca del río Checua son tomados de la estación climatológica de Corporación Autónoma Regional (Nemocón)

- ÁREA DE LA CUENCA ( $A_c$ ): 166.3 Km<sup>2</sup>
- PLUVIOSIDAD: valores mensuales promedio multianual enero 1953 a diciembre 2002 (mm)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5.4	17.6	20.4	41.3	50.2	26.7	26.2	26.1	20.0	60.5	52.5	12.1

- CAUDALES: caudales medios registrados multianuales enero 1961 a diciembre 1996 (m<sup>3</sup>/s)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.27	0.12	0.19	0.17	0.19	0.10	0.11	0.14	0.17	0.22	.034	0.29

### CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS: (Kg/m<sup>3</sup>)

AÑOS	MESES	MESES	C <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	C <sub>media</sub>
1988	ENE	1	571,99	31,686	169,3
	MAY	5	158,498	9,93	56,43
	SEP	9	185,66	1,35	39,74
1990	ABR	28	83,016	13,866	33,25
	MAY	29	179,654	18,024	78,95
	OCT	34	23,66	2,41	11,14
1991	ENE	37	25,564	4,104	17,11
	ABR	40	83,208	23,264	31,85

	DIC	48	73,536	1,73	19,32
1992	MAY	53	6,752	5,568	6,16
	NOV	59	19,076	5,768	8,81
	DIC	60	68,21	5,318	26,64
1993	AGO	68	7,148	3,812	5,13
	NOV	71	14,896	2,856	6,37
	DIC	72	14,176	8,12	13,87
1994	ENE	73	26,596	4,04	13,76
	MAR	75	35,184	3,902	12,7
	MAY	77	7,378	4,209	5,71
	JUN	78	11,778	2,606	4,94
	SEP	81	18,405	4,4	9,01
	OCT	82	25,802	2,328	8,46
1995	FEB	86	2,606	2,428	2,517
	MAR	87	32,158	2,61	19,003
	MAY	89	16,226	3,016	11,448
	AGO	92	12,276	3,706	14,864
1996	FEB	98	45,466	6,11	17,917
	MAR	99	17,298	9,1	13,527
	ABR	100	61,362	13,656	37,692
	JUL	103	11,1	4,542	7,821
	SEP	105	20,62	0,716	11,758
	DIC	108	45,522	5,488	20,27
1997	ENE	109	96,458	0,572	29,443
	ABR	112	1,834	1,05	1,442
	MAY	113	1,78	1,178	1,479
	OCT	118	43,286	8,502	24,674
1998	MAY	125	26,218	3,262	16,281
	SEP	129	23,568	4,21	9,61
1999	ENE	133	198,648	10,144	66,208
	FEB	134	42,184	8,196	23,295
	MAR	135	25,402	0,348	6,227
	ABR	136	7,766	2,262	4,065
	SEP	141	166,684	2,376	25,665
	OCT	142	2,802	1,812	2,959
	NOV	143	23,21	3,256	6,978
2000	ENE	145	352,246	4,564	122,546
	MAR	147	31,388	6,016	16,294
	ABR	148	237,592	6,348	45,621
	AGO	152	16,978	2,054	7,553
	SEP	153	5,812	4,044	4,931
	OCT	154	125,864	3,856	33,828
	NOV	155	7,902	2,154	5,117
	DIC	156	188,68	3,918	68,706
2001	MAR	159	22,07	4,434	8,531
	NOV	167	1,458	2,004	1,731
2002	FEB	170	5,291	0,767	3,029

En Diciembre de 2004 se realizó una practica de campo en el río Checua en donde se practico la medición y se observo el manejo del equipo en el Sitio, en la foto N° 5 se observa el estado de deforestación que se presenta en algunos sitios de la Cuenca del río Checua



Foto N° 5. Cuenca del río Checua.

En la foto N° 6 se presenta el río Checua aguas arriba del sitio del Puente Checua

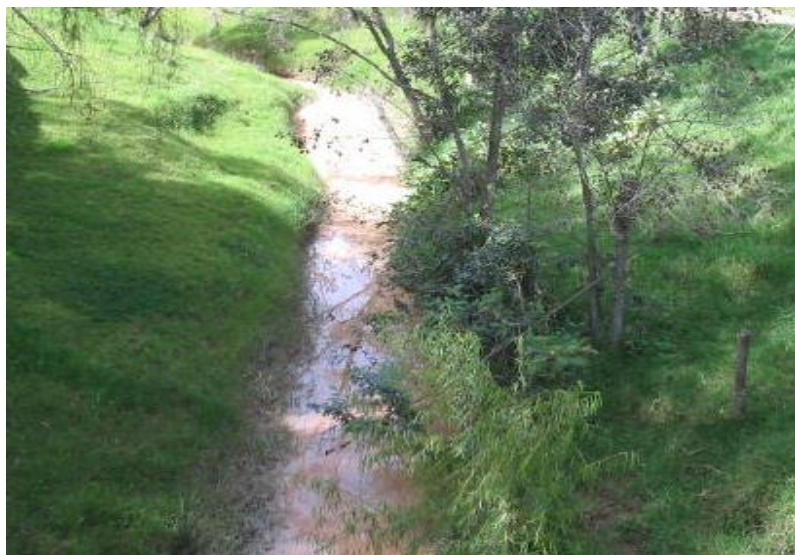


Foto N° 6. Río Checua



En la foto siguiente (ver foto N° 7) se puede observar el izaje del equipo de sedimentos con técnicas nucleares realizado desde el puente del río Checua, en este sitio se observa que existe una estación de la CAR (Nemocon) donde tienen linmigrado y mira.



Foto N° 7. Puente del río Checua

Las mediciones promedio del equipo fueron de 259.310 (c.p.s) ó cuentas por minuto de sedimento sobre cuentas por minuto de agua (cpm sedimento/cpm agua).  $(\ln R_{sw}/R_w)$  que de acuerdo a la calibración realizada en INGEOMINAS y asistiendo a las tablas y graficas establecidas, la prueba arroja un resultado de la concentración de sedimentos suspendidos de 20.0 gramos/litro en este día de medición en campo con los equipos de tecnología nuclear.

## **9. CONCLUSIONES**

La técnica para la medida de la concentración de sedimentos en suspensión por atenuación de rayos X o Gamma de baja energía en el intervalo comprendido entre 0.1 y 50 gramos por litro ha sido estudiada exhaustivamente, durante los últimos años y técnicamente no ofrece problema alguno.

El porvenir de esta técnica parece estar condicionado, por el elevado costo y la falta de personal capacitado para el adecuado manejo de los equipos.

El calibrado de los equipos no ofrece dificultades y la influencia de la naturaleza química de los sedimentos es relativamente pequeña.

Los equipos portátiles deben sustituir o al menos complementar en un futuro próximo a las técnicas gravimétricas convencionales, permitiendo una rápida determinación de la concentración de sedimentos en numerosos puntos de la corriente sin efectuar tomas de muestra.

La posibilidad de estudiar situaciones relacionadas con la hidrología isotópica permite la aplicación de las técnicas nucleares en ingeniería, representando un importante ahorro de tiempo y dinero.

La técnica nuclear conduce a la obtención de datos más significativos, más precisos, de mayor confiabilidad y desde el punto de vista práctico, la utilización inmediata de la información

Los resultados prácticos obtenidos en los trabajos muestran como la tecnología especializada puede aplicarse directamente al estudio y solución de problemas de interés técnico social y económico.

La cuenca del río Checua seleccionada para realizar la investigación se considera que es la cuenca adecuada por tener problemas de erosión y porque actualmente se esta desarrollando por parte de la CAR y la GTZ implementación de procesos de reforestación, en donde la medida de sedimentos en suspensión se convierte en un indicador para medir la eficacia de los proyectos emprendidos, adicionalmente porque el río Checua alimenta al río Bogotá y este a su vez a la Planta de Tratamiento de TIBITOC que trata aguas para abastecimiento de poblaciones como Tocancipa, Gachancipa, Cajica, Chía y parte de Bogotá que se ve afectada económicamente en tratamiento cuando se vierten sedimentos al sistema y tiene que ser tratados en los procesos de Floculación, sedimentación y filtración.

## **10. RECOMENDACIONES**

Para una utilización correcta del equipo se debe tener en cuenta las condiciones de calibración para las mediciones en campo y los parámetros a seguir en el montaje de equipos.

Para las pruebas en campo se recomienda que al sumergir el equipo mantenga una posición fija y estable frente a la corriente hídrica y así permitir que los datos sean análogos.

Dentro de la investigación desarrollada por la Universidad se recomienda generar un manual práctico que disponga de un conjunto de curvas de calibrado para efectuar el análisis de la concentración de sedimentos suspendidos.

Dentro del trabajo de investigación se recomienda realizar prácticas similares con una buena estadística que conduzcan a la obtención de datos significativos en cuencas hidrográficas que tengan problemas de sedimentación, debido a que esta herramienta nuclear se convierte en un indicador de la erosión o en un indicador de la reforestación en una cuenca hidrográfica.

Capacitarse y documentarse sobre la manipulación adecuada de equipos e instrumentos que se requieren en este tipo de prácticas nucleares.

Se recomienda la implementación de la técnica nuclear para la medición de la concentración de sedimentos suspendidos por su gran capacidad de obtener resultados reales en menor tiempo comparado con las técnicas convencionales de medición.

Dentro de la Universidad se recomienda tener un laboratorio donde se pueda tener este tipo de equipos para realizar las prácticas.

## **11. AGRADECIMIENTOS**

Gracias al gran aporte de muchas personas se logró la realización de esta investigación y el desarrollo del convenio UNIVERSIDAD LIBRE y el Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS.

Total agradecimiento al director y codirector del proyecto, Ingeniero Civil – Magíster Recursos Hidráulicos Jesús Ernesto Torres Quintero por lograr la coordinación del proyecto por ser un pionero en el manejo y aplicabilidad de las técnicas nucleares y el ingeniero Guillermo Eduardo Ávila por permitir y ser un apoyo para la utilización de los laboratorios de INGEOMINAS.

Por su incondicional aporte y colaboración el técnico operativo de INGEOMINAS en el área de Sedimentos, Luis Chavarro, por sus aportes sobre el manejo de equipos de tecnología nuclear y el apoyo en el desarrollo de la investigación.

Agradecemos a toda su colaboración y apoyo a la directora de la facultad de ingeniería ambiental, la ingeniera Claudia Patricia Gómez por su cariño y seriedad para lograr los objetivos de los estudiantes y también mencionamos al evaluador del proyecto y gran catedrático el ingeniero Rubén Darío Londoño y al departamento de investigaciones el Ingeniero Jorge Zambrano por hacer parte del proceso.

## **12. BIBLIOGRAFÍA**

Jiménez, J. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Curso de posgrado en protección radiológica y seguridad nuclear. Comisión nacional de energía atómica, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 1988

HERRERA RIVERA, Gilberto. Aplicaciones de la Tecnología Nuclear en Geofísica y Geomecánica. Bogotá, 2001. INGEOMINAS. Ingeniero Geólogo.

Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas. Curso básico de Protección Radiológica. Ministerio de Minas y Energía. Octubre de 1996.

Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas. Logros en Hidrología Isotópica. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá Colombia 1997.

INSTITUTO DE NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS Y CERTIFICACIÓN.

PLATA, Antonio. Isótopos en Hidrología. Editorial Alhambra 1972.

ROJAS, Jairo Alberto. Hidráulica Fluvial. Escuela de Ingenieros. Bogotá, 1998

TORRES QUINTERO, Jesús Ernesto. Determinación de Sedimentos en el Puerto de Buenaventura utilizando equipos con fuentes nucleares. Tesis de postgrado (Especialización en Hidrología). Bogotá 1989. Universidad Nacional de Colombia. Área Hidrología.

CESAR O. RODRÍGUEZ, Hidrología Isotópica en Colombia, aplicación de isótopos en hidrología, Instituto Nacional de Asuntos Nucleares, Bogota 1997.